

## 別紙 2

### 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宮田紘平

人間社会において歌と踊りが表裏一体の文化を成しているように、ヒトの知覚行為において発声すること、聴くこと、動くことは密接に結びついている。聴覚情報が運動に及ぼす影響についてはこれまで、リズムカルな運動を行う際に、ペース信号となるメトロノーム音を提示することにより、ペース信号が提示されない場合に比べて運動の時空間的変動が減少し、外乱に対する安定性が向上することが明らかになっている。また、メトロノーム音に合わせて周期的な運動を行う聴覚-運動同期課題では、音と運動の位相関係および音のテンポに依存して運動の安定性が変化することが明らかになっている。たとえば、メトロノーム音に合わせて立位での膝関節屈曲・伸展運動を行う場合、80 拍/分のテンポであれば、音に膝関節の屈曲位相を同期させる協調パターン（音-屈曲協調）と音に膝関節の伸展位相を同期させる協調パターン（音-伸展協調）の双方が遂行可能であるのに対し、180 拍/分の速いテンポになると音-伸展協調パターンが不安定化し、音-屈曲協調パターンに収束する相転移現象が認められる。また、この相転移現象は、音のテンポを制御変数、音と運動の位相関係を秩序変数とする力学系モデル（Haken-Kelso-Bunz モデル）によって記述できることが明らかにされている。

一方で、外部環境から与えられる聴覚刺激ではなく、自ら発する音声と、それと同時に行われる全身運動の間関係についてはこれまで、自らの掛け声が筋力発揮に与える影響や擬声語（オノマトペ）が運動遂行に与える影響について検討されてきたものの、発声と運動の双方向的な協調特性の詳細については明らかになっていない。そこで本博士論文では、リズムカルな発声と全身運動とを同時に行う際の協調特性について、力学系アプローチを用いて検討した。

はじめに実験 1 では、リズムカルな発声と全身運動の間に安定した位相関係が存在するか否かを検討した。実験の参加者は、発声と立位姿勢での膝関節屈曲・伸展運動を、2 種類の協調パターン（発声-屈曲協調および発声-伸展協調）で遂行した。その際のテンポは、80, 130, 180 拍/秒とした。その結果、発声-屈曲協調パターンは 180 拍/秒においても遂行可能であったのに対し、発声-伸展協調パターンは 180 拍/秒になると不安定化し、発声-屈曲協調パターンに収束してしまうことが明らかになった。この結果は、外部のメトロノーム音と運動の協調パターン変化を説明する力学系モデルである Hake-Kelso-Bunz モデルによって予測される変化と同一であることから、自らの発声と運動の間においても、

外部音と運動の間に成立する協調関係と同様の関係が成立することが明らかになった。

続く実験2においては、リズムカルな発声と全身運動をそれぞれ単独で遂行する単独条件と、同時に発声－屈曲協調パターンにて遂行する協調条件間の時間的変動を比較した。その結果、動作を80拍/秒で遂行した際には発声および膝関節運動周期のいずれにおいても、協調条件では単独条件より時間的変動が減少することが明らかになった。この結果は、発声と全身運動を同時に遂行する際の時間的変動の減少が、発声に対する全身運動の一方向的な引き込みによって生じたのではなく、両者の間に双方向的な引き込み、あるいは安定化が生じていることを示唆するものである。

実験3ではさらに、実験2において示された双方向的安定化の背景を、発声によって生じる聴覚フィードバックを遮断することによって検討した。実験参加者は、実験1において用いた発声と全身運動の同時遂行課題を、聴覚フィードバック遮断条件下で遂行した。聴覚フィードバックの遮断は、ノイズキャンセリングヘッドフォンをとおして白色雑音を提示することによって行われた。その結果、聴覚フィードバックを遮断した場合においても実験1と同様に180拍/秒のテンポでは発声－伸展協調パターンが発声－屈曲協調パターンへと遷移する位相収束現象が認められ、さらにいずれのテンポにおいても、聴覚フィードバックあり条件と遮断条件との間で運動周期の時間的変動に有意な差が認められなかったことから、呼吸器や発声に関わる効果器の活動が全身運動と双方向的な安定化を引き起こす可能性が示唆された。

実験4では、リズムカルな外部音に全身運動を同期させる聴覚－運動同期課題において、膝関節屈曲・伸展運動とともに発声を行うことにより、音と運動の協調関係がどのように変化するのか検討した。実験参加者は、2種類の協調パターン（音－屈曲協調および音－伸展協調）でメトロノーム音と全身運動の同期課題を遂行した。その際のテンポは80から160拍/秒とした。その結果、音－屈曲協調条件では、メトロノーム音と同時に発声を行うことにより、音に合わせた運動の同期性が高まることが明らかになった。

以上4つの実験を通して本論文は、発声と全身運動の協調が外部音と運動の協調と同様のダイナミクスに従い、双方向的な安定化が生じるとことを明らかにした。さらに、これらの双方向的安定化は、体肢間協調に見られるような運動間の引き込み特性を背景としていることが示唆された。加えて、発声は聴覚－運動同期の安定性を向上させることが示された。これらの知見は、これまで報告されてきた発声による運動の安定化の背景に力学系モデルで記述しうる協調特性が存在することを明らかにしたものであり、これらの知見はスポーツ・運動の学習やリハビリテーションなどの応用研究につながるものとして高く評価することができる。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。